

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

碳纖維強化複合材料加強筋應用於不同強度混凝土在高溫中握裹力

計畫編號：NSC 90-2211-E-009-51

執行期限：民國 90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：鄭復平 執行機構及單位名稱：國立交通大學土木工程

一、中文摘要：

纖維強化複合材料加強筋 FRP reinforcement (fiber reinforced plastic reinforcement)(以下簡稱 FRP reinforcement) 的抗拉強度約可達鋼的 10 倍，為甚佳之抗拉材料，對於增加混凝土構件之強度或對混凝土施加預力以提高承载力均有顯著的效果，然其抗拉強度必須由其與混凝土間之握裹力來改進，本研究探討 FRP reinforcement 於混凝土中在高溫下對握裹力之影響。

本研究針對纖維強化複合材料加強筋應用於不同強度混凝土內時高溫對其握裹力之影響為主題，並研究 FRP reinforcement 在各種強度之混凝土內於不同高溫加熱下其握裹力及拉拔滑移變位之變化。

主要考量因子包括混凝土強度、加熱溫度、混凝土中溫度分佈情形、握裹力及握裹破壞模式間之關係。預期研究結果包括 (1) 探討相同尺寸纖維強化複合材料加強筋 FRP reinforcement 應用於混凝土作為抗拉構材受高溫之可行性。(2) 建立混凝土強度、加熱溫度、握裹力及破壞模式間之關係。(3) 考量高溫下內部溫度分佈情形。

關鍵詞：碳纖維強化複合材料加強筋、高強度混凝土、握裹力、拉拔滑移變位、握裹破壞模式。

Abstract

The major concern of this research project is to deal with the bonding

capability of the same size of fiber plastic reinforcement in concrete at elevated temperatures. The relationship between bonding force and slip displacement at different temperatures is executed.

The major parameters in this study are temperature, the concrete strength and the failure mode. The expected result will include (1) The feasibility of using the same size FRP Bar as tension reinforcement at elevated temperature (2) setup the relationship between the bonding force and failure mode at different temperatures (3) find out the distribution of the concrete that in the high temperatures .

Keywords: carbon fiber reinforced plastic reinforcement , high strength concrete ,bonding strength

二、緣由與目的：

緣由

FRP reinforcement，其較傳統鋼材有高強度、重量輕、耐蝕性佳等多項優點，因而被研發於取代鋼筋混凝土構件內之鋼筋、鋼鍵，成為承拉構材、剪力筋、圍束箍筋及施預力構材等，經研究報告顯示，均得到良好之效果。由於纖維強化複合材料完全不具有腐蝕性，因而在對鋼筋有腐蝕隱憂的惡劣環境(例如海邊，化學工廠及凍寒地帶)更是絕佳的鋼筋替代品。近年來已有許多研究者從事相關的研究，對於纖維強化複合材料在常溫下與混凝土間之握裹力問題，也有不少研究成果，但是在高溫下纖維強化複

合材料與混凝土間之握裹力問題就沒有相關的研究。

纖維強化複合材料加強筋 (FRP reinforcement) 取代鋼筋用於混凝土構件內成為拉力構材，其抗拉強度之發揮有賴與混凝土間之握裹力，有足夠之握裹力方能使其發揮所需之抗拉強度，然影響握裹力的因素很多，包括抗拉構材的尺寸、埋置深度、表面粗糙度、受束制條件 (混凝土保護層、間距、箍筋效應等)、混凝土強度及外在環境變化的影響 (高溫、混凝土的侵蝕) 等，其中 FRP reinforcement 耐高溫性質並不理想，因此高溫環境對其握裹力之影響就變成可能造成其承拉效用變化的一大因素，且採用 FRP reinforcement 做為混凝土的拉力構材對混凝土構件強度有很顯著的提升，如一旦因高溫而造成其承拉功能喪失，則將對整構件強度造成嚴重影響，而危及生命安全。

因此考量 FRP reinforcement 於混凝土中在高溫下對握裹力之影響是有必要的，而且高溫對握裹力之影響又受到諸多因素之影響，故本研究將對此一課題及其相關影響因素進行深入之探討。

目的：

纖維強化複合材料加強筋 FRP reinforcement (fiber reinforced plastic reinforcement) 具有高抗拉強度，為甚佳之抗拉材料，適合應用於高強度混凝土之抗拉或施加預力之構材，本計畫將就 FRP reinforcement 於混凝土中在高溫環境下對其握裹力之影響進行研究，並對於下列各項因素進行討論：

1. 選擇適當之 FRP reinforcement 探討其應用於混凝土作為抗拉構材受高溫之可行性。
2. 建立同一試體尺寸於不同強度混凝土試體中在不同高溫下其溫度分佈情況、溫度與握裹強度間之關係。

3. 探討高溫環境下握裹力變化對各種構件強度之影響。

4. 探討同一 FRP reinforcement 尺寸於不同構件強度中在各種高溫環境下與握裹力及破壞模式之關係。

三、試體製作與試驗：

溫度分佈部分：

(一) 分別澆製強度為 10000PSI、8000PSI、6000PSI、4000PSI 之混凝土圓柱試體。

(二) 混凝土圓柱試體之規格如圖一所示，其為 20 cm * 50 cm 的圓柱試體。

(三) 其中熱耦線的配置方法為，水平方向之熱耦線由試體中心由裡而外配置，每間隔 2 cm 配置一條，垂直方向之熱耦線由頂面由上而下配置，分別間隔 2.5 cm、2.5 cm、5 cm 來配置 3 條熱耦線。

(四) 在作溫度分佈試驗時，是依據 ASTM E-119 加熱曲線分別將養護 56 天的各個強度的試體分別加熱，並擷取讀數。

握裹強度部分：

(一) 分別澆製強度為 10000PSI、8000PSI、6000PSI、4000PSI 之混凝土圓柱試體。

(二) 混凝土圓柱試體之規格如圖二所示，其為 20 cm * 25 cm 的圓柱試體。

(三) 在其中心埋置一握裹長度為 8 cm 之 FRP reinforcement。

(四) 以每分鐘 2 噸的拉拔數率下，在不同定溫下進行實驗，並擷取讀數。

四、結果與討論：

溫度測試的試體尺寸為 20 cm * 50 cm 的圓柱試體，握裹力測試的試體尺寸為 20 cm * 25 cm，溫度測試部分其電熱偶線的位置如圖一所示，而握裹力測試的設備架設如圖三與圖四所示，就不同變因討論試體之握裹力與試體強度及內部溫度間的變化

溫度討論：

(一) 探討溫度的傳遞及變化由圖五可知試體內部越靠近加熱面之升溫曲線越類似上凸拋物曲線升溫，而越靠近裡面則越接近直線升溫。

(二) 原先試體的設計為 20 cm * 50 cm 的圓柱試體但由圖五可知垂直向的高度變化並不太影響溫度的變化，所以往後握裹力撤式的試體則縮小為 20 cm * 25 cm。

(三) 不同試體強度下溫度的傳遞及變化並不很明顯。

(四) 由於試驗試體的半徑較大，所以中心的溫度曲線與加熱曲線及爐溫相較之下有明顯的延遲現象，因此在這種情況下加溫曲線、實際爐溫與實際試體的中心溫度間的控制有相當的困難。

(五) 約在於 100°C 時因為溫度傳導方向及梯度的原因，各升溫曲線都有一段呈現水平的現象，這是火害問題中的一個特徵。

破壞面討論：

(一) 由圖七可知，在常溫下測試試體在拉拔破壞時期破壞的模式皆為混凝土柱的破裂破壞。

(二) 由圖八可知，在 100°C 下測試試體在拉拔破壞時期破壞的模式也皆為混凝土柱的破裂破壞，但其破裂的情況有較為和緩。

(三) 由圖九可知，在 200°C 下測試試體在拉拔破壞時期破壞的模式已有被拉脫的現象，但其混凝土柱的部分仍有些許破裂的現象。

(四) 由圖十可知，在 400°C 下測試試體在拉拔破壞時期破壞的模式就幾乎都為拉脫的現象，而混凝土柱的部分就不太有破裂的情況發生。

(五) 由圖十一可知，在 600°C 下測試試體在拉拔破壞時期破壞的模式就非常明顯都是完全拉脫的情況，但是混凝土試體的本身也有龜裂的現象，依判斷應該是高溫所造成龜裂而與握裹強度上並無太大的關連。

握裹力討論：

(一) 由圖六所示，在常溫下隨著水灰比的不同，水灰比越低其試驗試體的強度越高其個別所對應的握裹強度也隨著增加（由 6.73T~4.10T）

(二) 由圖六所示，在 100°C 下與在常溫下的趨勢大致相同也是隨著水灰比的降低而其強度越來越高，但是其強度與常溫相較仍有稍微的下降。

(三) 由圖六所示，在 200°C 下其各種試體強度雖然其分別與所對應的握裹強度仍有與常溫相符合的趨勢，但是其強度已經減低了相當多了，其原因可能是本身與其外部噴砂的界面膠黏失敗所致，如圖十六，其外部噴砂部分已有約一半左右已經落了，但其本身並無破壞的現象。

(四) 由圖六所示，在 400°C 下其各種試體強度所個別對應的握裹強度已無太多的差異，大約分佈在 0.12T~0.1T 之間，其原因也如同 200°C 的試體一般，但由圖十八及圖十九所示我們可以發現纖維強化複合材料加強筋本身噴砂的界面膠黏從 200°C 時約有一半左右的失敗到 400°C 已經完全脫落了並且纖維強化複合材料加強筋本身也有龜裂破壞的現象。

(五) 由圖六所示，在 600°C 下其各種試體強度所個別對應的強度幾乎已經都等於零了，而且由圖二十及圖二十一發現，埋入混凝土試體的纖維部分已經全部焦黑了，雖然龜裂的部分並沒有加劇的情況，但是與 400°C 的側邊相較之下則有更為毛燥的現象。

滑動變位討論：

由圖二十二至圖二十六可知，滑動變位在常溫時因為混凝土較為脆硬，所以在握裹失敗前並沒有太大的變位，但是只要一發生握裹失敗後即得到相當大的為移，而其他溫度較高的情況其變位的改變都較為平滑。

四、結論：

由這次的實驗我們可以歸納出以下的結論：

(一) 在常溫下及 100°C 時其握裹強度與混凝土圓柱試體強度是成正相關的。

(二) 在 200°C 及 400°C 時雖然仍有握裹強度，但是已與混凝土圓柱試體強度關係不大了，彼此之間的強度也相差無幾。

(三) 在 600°C 是完全沒有強度可言了。

(四) 在常溫下纖維強化複合材料加強筋 FRP reinforcement 其抗拉強度雖然很強，但是在高溫的環境下強度卻下降的相當多。

(五) FRP reinforcement 在常溫下仍保有相當的握裹力，但在溫度升高後，其握裹力急速下降，因此不適用於有火害疑慮的地方。

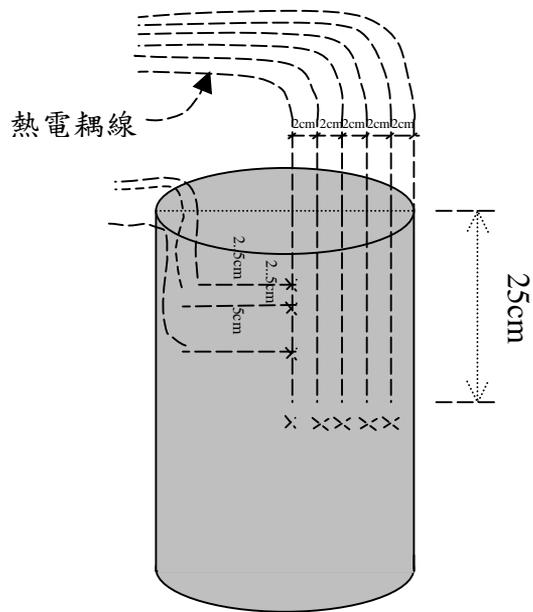
五、計畫結果與自評：

本計畫混凝土柱熱傳導的分佈、混凝土柱在不同強度及溫度下的破壞模式、在不同溫度及不同混凝土試體強度下的位移變化以及纖維棒遇熱後所產生的變化。實驗的進行實在實驗設備的 SET-UP 都遭遇到不少的困難，尤其是夾具的製作為其中最困難的部分。

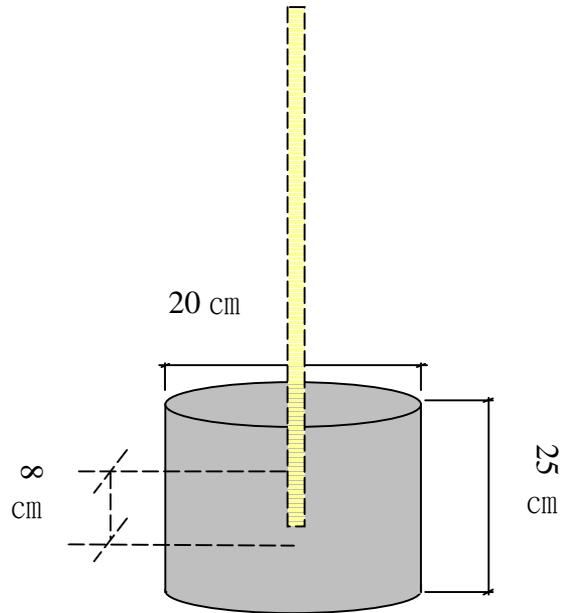
由於實驗結果可以發現纖維棒在高溫下，原本為增加握裹力的粗糙面完全失效，以致於在高溫下其握裹力幾乎完全消失，因此在有火害疑慮的地方，使用握裹力要十分審慎考慮此問題。

五、參考文獻

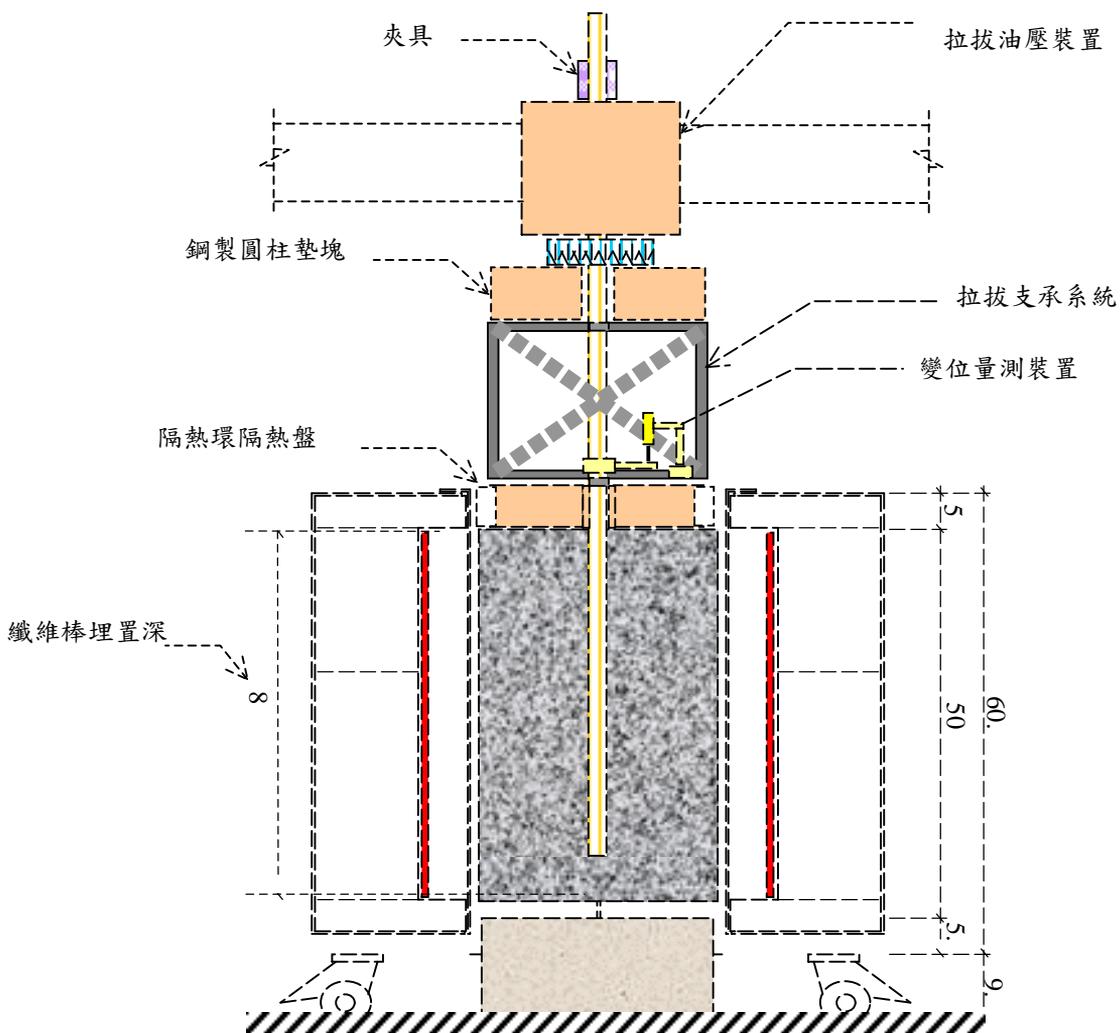
1. A.Z.Fam, S.H.Rizkalla, and G.Tadros, "Behavior of CFRP for Prestressing and Shear Reinforcements of Concrete Highway Bridges"
2. Park Ridge, N.J., U.S.A. "Carbon fibers: technology, uses, and prospects"
3. Maruyama, T.; Honma, M.; and Okamura, H., "Experimental Study on the Diagonal Tensile Characteristic of Various Fiber Reinforced Plastic Rods,"
4. Mitsubishi Kasei, "Leadline Carbon Fiber Rod Technical Data"
5. Fam, A.Z., "Carbon Fiber Reinforced Plastics Prestressed and Shear Reinforcement for Concrete Highway Bridges,"
6. 大谷杉郎, 大谷朝男, "碳纖維材料入門"
7. 林草英、洪建銘, "碳纖維 CFC 在鋼筋混凝土梁構件之應用", 中華民國第四屆結構工程研討會論文集
8. Orangun, C.O.; Jirsa, J.O.; and Breen J.E., "A reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal Proceeding"
9. ACI Committee 408, "suggested Development, Splice and Standard Hook Provisions for Deformed Bar in Tension"
10. Phil, M.F. and J.N. Thompson, "Development Length of High Strength Reinforcing Bar in Bond," ACI Journal
11. Lutz, L.A. and P.Gergely, "Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete," ACI Journal
12. Ezeldin and Balaguru, "Bond Behavior of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete," ACI Materials Journal
13. Brettmann, B.B., D. Darwin, and R.C. Donahey, "Bond of Reinforcement to Superplasticized Concrete," ACI Journal



圖(一) 溫度試驗試體規格及
電熱耦線埋置方式



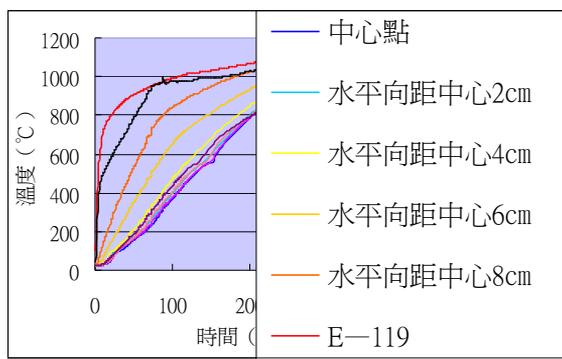
(圖二) 握裹強度試驗試體規格及
FRP reinforcement 埋置方式



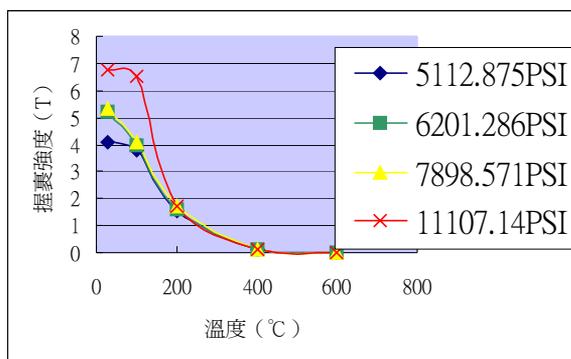
圖(三) 握裹力試驗設備(示意圖)



圖(四) 握裹力試驗設備(實體圖)



圖(五) 溫度分佈



圖(六) 握裹強度與溫度間之關係



圖(七) 常溫下之破壞面



圖(八) 100°C下之破壞面



圖(九) 200°C下之破壞面



圖(十)400°C之破壞面



圖(十一)600°C之破壞面圖



圖(十二)常溫試驗後纖維棒表面(側)

-



圖(十三)常溫試驗後纖維棒表面(正)



圖(十四)100°C試驗後纖維棒表面(側)



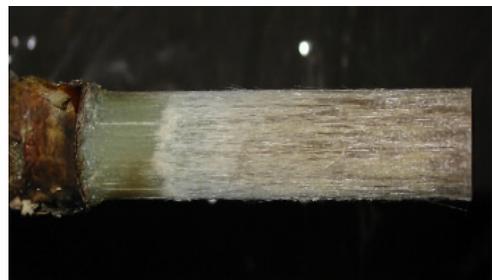
圖(十五)100°C試驗後纖維棒表面(正)



圖(十六)200°C試驗後纖維棒表面(側)



圖(十七)200°C試驗後纖維棒表面(正)



圖(十八)400°C試驗後纖維棒表面(側)



圖 (十九) 400°C 試驗後纖維棒表面 (正)



圖 (二十) 600°C 試驗後纖維棒表面 (側)



圖 (二十一) 600°C 試驗後纖維棒表面 (正)

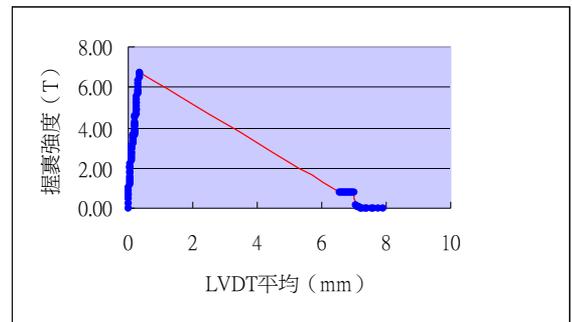


圖 (二十二) 常溫下握裹強度與變位之關係

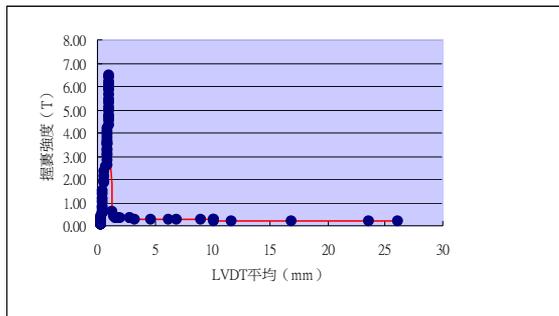


圖 (二十三) 100°C 下握裹強度與變位之關係

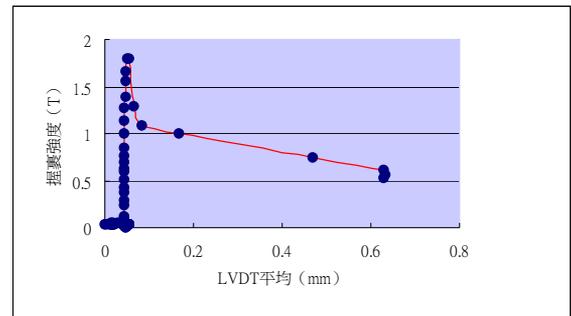


圖 (二十四) 200°C 下握裹強度與變位之關係

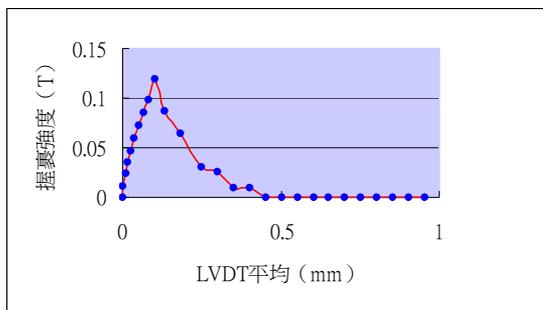


圖 (二十五) 400°C 下握裹強度與變位之關係

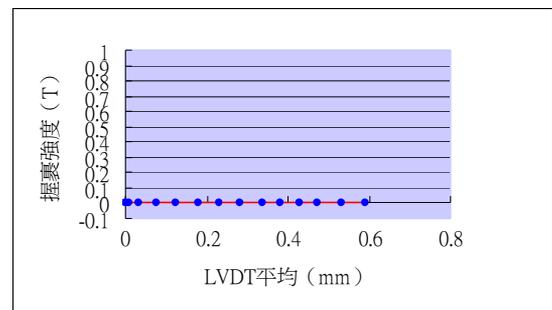


圖 (二十六) 600°C 下握裹強度與變位之關係